

KAJIAN EKSPERIMENTAL KESESUAIAN ANTARA SIFAT INDEKS DAN HASIL *X-RAY DIFFRACTION* TANAH EKSPANSIF

Muhammad Husni Maricar

Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin
husni_maricar@yahoo.com

Lawalenna Samang

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin
samang.l@yahoo.com

Muh. Saleh Pallu

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin
salehpallu@hotmail.com

Wihardi Tjaronge

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin
tjaronge@yahoo.co.jp

Abstrak

Kembang – susut tanah ekspansif terjadi karena hadirnya mineral lempung *smectite* seperti *montmorillonite*, *illite*, *bentonite*, dan sejenisnya yang mengabsorpsi sejumlah besar air. Deskripsi awal tanah ekspansif melalui pengujian sifat – sifat indeks dan uji difraksi sinar – X untuk mengetahui karakteristik, proporsi dan komposisi kandungan mineralnya. Hasil uji ini perlu dilihat kesesuaiannya agar tidak salah menginterpretasikannya sebelum menetapkan solusi untuk mengatasi dampaknya terhadap struktur bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sinkronitas antara hasil pengujian sifat indeks dengan hasil difraksi sinar – X tanah ekspansif. Pengujian sifat – sifat indeks mengacu pada SNI dan AASHTO, sedang difraksi sinar – X menggunakan X – Ray Diffractometer Rigaku MiniFlex II XRD berkapasitas sudut difraksi 2θ antara $2^\circ - 135^\circ$. Hasilnya menunjukkan bahwa tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan USCS sebagai lanau inorganik plastisitas tinggi (MH) dan AASHTO sebagai A-7-5(25) dengan beberapa sifat indeks, yaitu indeks plastisitas = 31,46%, aktifitas = 1,93, dan pengembangan = 4,69%. Hasil ini sesuai dengan difraksi sinar – X yang menunjukkan bahwa kandungan mineral tanah didominasi mineral lempung *montmorillonite*.

Kata kunci : tanah ekspansif, sifat indeks, difraksi sinar – X.

Abstract

Swelling – shrinkage of expansive soils occurs due to the presence of smectite clay minerals such as montmorillonite, illite, bentonite, and the like that absorb large amounts of water. Initial description of expansive soils by testing the indexes properties and X – ray diffraction to determine the characteristics, proportion and composition of mineral content. The test results should be viewed for synchronization in order not to misinterpret before determine a solution to cope with the impact on building structures. This study aims to assess the synchrony between the index properties testing results with the results of X – ray diffraction of expansive soils. Index properties testing refers to the SNI and AASHTO manuals, while the X – ray diffraction using X – Ray Diffractometer Rigaku MiniFlex II XRD diffraction angle 2θ with a capacity between $2^\circ - 135^\circ$. The results show that the soil can be classified based on USCS as high plasticity inorganic silt (MH) and AASHTO as A-7-5(25) with some index properties i.e plasticity index = 31.46%, activity = 1.93, and swelling = 4.69%. These results are consistent with the X – ray diffraction that showed the mineral content of the soil predominantly montmorillonite clay minerals.

Keywords : expansive soils, index properties, X – Ray Diffraction

5 PENDAHULUAN

Umumnya tanah ekspansif dipahami sebagai suatu jenis tanah yang mempunyai karakteristik mengalami perubahan volume seiring dengan terjadinya perubahan kadar air. Lebih luas lagi, tanah ekspansif dapat didefinisikan sebagai tanah yang memiliki karakter khusus dalam hal pengembangan dan penyusutan volumenya (*swelling* dan *shrinkage*), terutama disebabkan karena hadirnya mineral lempung *smectite* seperti *montmorillonite*, *illite*, *bentonite* dan sejenisnya yang dapat mengabsorpsi air dari sekelilingnya dalam prosentase relative besar. Melalui pengujian sederhana di laboratorium, potensi ekspansif dari suatu jenis tanah diantaranya dapat ditandai berdasarkan sifat plastisitasnya. Tanah lempung anorganik plastisitas tinggi yang umumnya memiliki nilai batas cair (*liquid limit* – LL) diatas 50% dan indeks plastis (*plasticity index* – PI) diatas 30% biasanya mempunyai kemampuan pengembangan (*swelling*) yang besar[5]. Dengan visualisasi di lapangan, ciri – ciri awal tanah ekspansif secara mudah dapat dikenal dengan banyaknya retakan – retakan berpola *polygonal* pada permukaan tanah yang biasa ditemui saat musim kering atau kemarau, sebagaimana terlihat pada Gambar 1 di bawah.



Gambar 1 Retakan dengan pola polygonal pada tanah ekspansif dimusim kering

Karakter kembang – susut yang terjadi berulang – ulang sepanjang musim akan berdampak buruk bagi bangunan dan infrastruktur yang dibangun di atasnya, baik dari segi estetika, performa maupun biaya rehabilitasi yang harus dikeluarkan. *Treatment* dan teknologi terapan yang sering diterapkan dalam mengatasi atau mengurangi dampak buruk tanah ekspansif ini pada umumnya dapat dikelompokkan atas :

1. Berkaitan dengan usaha perbaikan karakteristik material tanah ekspansif itu sendiri, misalnya: dengan cara penggantian material lain yang lebih baik atau dengan cara stabilisasi baik secara kimiawi maupun fisika.
2. Berkaitan dengan usaha memberikan perlakuan yang berdampak positif pada lapisan tanah ekspansif, misalnya : dengan melakukan *preloading*, *vertical* dan *horizontal drain*, atau pembenahan sistem drainase di sekelilingnya.
3. Berkaitan dengan merekayasa konstruksi struktur tertentu yang diperlukan, misalnya : penggunaan *geotextile* atau pembuatan *moisture barrier*.
4. Gabungan dari beberapa kelompok diatas, misalnya : pemasangan *geotextile* dibarengi dengan *vertical drain*, dan sebagainya.

Namun apapun solusi yang akan diterapkan nanti, hal yang paling awal dan menentukan adalah pengenalan yang lebih baik dan benar terhadap karakteristik tanah ekspansif itu sendiri. Pengenalan karakteristik tanah ekspansif dapat dilakukan dengan pengujian sifat – sifat indeksnya di laboratorium dan melakukan uji difraksi sinar – X dengan peralatan *X – Ray Diffractometer*. Permasalahannya

adalah bagaimana cara menarik benang merah antara hasil pengujian sifat indeks tanah dengan hasil difraksi sinar – X tadi untuk melihat kesesuaiannya.

6 TINJAUAN PUSTAKA

Kata “ekspansif” dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) diartikan sebagai “dapat atau cenderung meluas”, sehingga tanah ekspansif dapat dipahami sebagai suatu jenis tanah yang dapat atau cenderung meluas dalam artian bahwa volume tanah tersebut dapat meluas atau mengembang. Pengembangan adalah suatu sifat dari tanah tertentu. Tidak ada cara yang dapat mengukur sifat pengembangan suatu tanah secara langsung, oleh karena itu perlu dilakukan pembandingan antara nilai – nilai pengembangan tanah yang diukur pada suatu kondisi tertentu untuk mendapatkan cara tertentu dalam menilai pengembangan tanah – tanah lainnya. Dengan mempertimbangkan mekanisme interaksi antara air dan mineral lempung yang terkandung dalam tanah ekspansif terlihat bahwa ada tiga komponen yang paling berperan dalam proses pengembangan tanah, yaitu mineral lempungnya, perubahan kadar air atau isapan air ke dalam material tanah (*suction*), dan tegangan yang bekerja pada tanah tersebut. Tipe mineral lempung merupakan komponen yang paling bertanggung jawab dalam pembentukan sifat tanah berkenaan dengan hakikat ekspansifitasnya. Sedang perubahan kadar air atau isapan air ke dalam tanah adalah sebagai pengendali seberapa besar pengembangan yang dapat dicapai oleh tanah tersebut di bawah suatu tegangan tertentu yang bekerja padanya [3].

6.1 Aspek Geoteknik Tanah Ekspansif

Referensi [6] menyatakan bahwa sistem klasifikasi tanah merupakan suatu metode yang secara sistematis mengkategorikan material – material tanah ke dalam berbagai grup dan subgroup sehubungan dengan kemungkinan perilaku fisik dan tekniknya tetapi tanpa dibarengi dengan uraian yang mendetail. Kebanyakan sistem klasifikasi tanah ini didasarkan pada besaran – besaran distribusi ukuran partikel, tekstur, batas – batas konsistensi, kadar air, kepadatan, dan kandungan organiknya. Pengkategorian tersebut hampir tidak memiliki kriteria sama sekali untuk menilai ekspansifitas tanah.

Tanah ekspansif umumnya diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus yaitu dimana lebih dari 50% ukuran partikelnya lolos saringan No. 200, atau lebih kecil dari 0,075 mm (2 μ). Dewasa ini telah banyak penelitian yang bertujuan untuk menetapkan metode serta kriteria sebagai indikator yang paling tepat dalam mengidentifikasi dan mengkarakterisasi tanah ekspansif baik di laboratorium maupun di lapangan. Indikator – indikator tersebut diharapkan dapat dijadikan acuan umum untuk penilaian awal atau memprediksi tingkat ekspansifitas tanah ekspansif. Diantara kriteria dan indikator tersebut, ada yang mengkaitkan ekspansifitas tanah ekspansif dengan batas cair (*liquid limit*) sebagaimana yang dipublikasikan oleh Chen (1975) dan *Bureau of Indian Standards* (1987) seperti terlihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Prediksi ekspansifitas tanah berdasarkan *liquid limit*

Derajat ekspansifitas	<i>Liquid limit</i> (%)	
	Chen	IS 1498
Rendah	< 30	20 – 35
Sedang	30 – 40	35 – 50
Tinggi	40 – 60	50 – 70
Sangat Tinggi	> 60	70 – 90

Selain itu, ada yang menghubungkan antara ekspansifitas tanah dengan indeks plastisitas (*plasticity index*) seperti yang dikemukakan oleh Holtz dan Gibbs (1956), Chen (1975), serta *Bureau of Indian Standards* (1987) sebagaimana dilihat dalam Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Prediksi ekspansifitas tanah berdasarkan *plasticity index*

Derajat ekspansifitas	<i>Liquid limit (%)</i>		
	Holtz dan Gibbs	Chen	IS 1498
Rendah	< 20	0 – 15	< 12
Sedang	12 – 34	10 – 35	12 – 23
Tinggi	23 – 45	20 – 55	23 – 32
Sangat Tinggi	> 32	> 35	> 32

Pelbagai penelitian selanjutnya terhadap karakteristik tanah ekspansif ditemukan parameter – parameter lainnya sehingga ada yang mengkorelasikan ekspansifitas tanah dengan parameter tersebut, yaitu kadar kaloid, batas susut (*shrinkage limit*), indeks penyusutan (*shrinkage index*), dan indeks pengembangan bebas (*free swell index*, FSI), seperti terlihat dalam Tabel 3.

Tabel 3 Prediksi ekspansifitas tanah berdasarkan parameter lainnya

Derajat ekspansifitas	Kadar koloid (%)	<i>Shrinkage limit (%)</i>	<i>Shrinkage index (%)</i>	FSI (%)	Persen pengembangan dalam oedometer	
					Holtz & Gibbs	Seed, <i>at al.</i>
Rendah	< 17	> 13	< 15	< 50	< 10	0 – 1,5
Sedang	12 – 27	8 – 18	15 – 30	50 – 100	10 – 20	1,5 – 5
Tinggi	18 – 37	6 – 12	30 – 60	100 – 200	20 – 30	5 – 25
Sangat Tinggi	> 27	< 10	> 60	> 200	> 30	> 25

Tanah tersusun dari berbagai tipe material, kebanyakan tidak bersifat ekspansif dengan hadirnya sejumlah air yang mengisi rongga – rongga tanah. Namun sejumlah mineral lempung yang bercampur didalamnya menyebabkan tanah bersifat ekspansif. Jenis mineral lempung tertentu inilah yang bertanggung jawab terhadap ekspansifitas tanah, diantaranya adalah mineral *smectite*, *illite*, *montmorillonite*, *bentonite*, *beidellite*, *vermiculite*, *attapulgit*, *nontronite* and *chlorite*. Tanah yang mengandung sejumlah besar mineral – mineral ekspansif ini cenderung memiliki potensi ekspansifitas yang signifikan. Sedang tanah dengan kandungan mineral – mineral tersebut dalam porsi kecil secara alamiah tidak bersifat ekspansif. Semua mineral lempung tersusun dari sekurang – kurangnya dua lembaran yang berdiam pada dua konfigurasi dengan kehadiran kation baik lembaran *tetrahedral* maupun *octahedral*. Ekspansifitas mineral lempung sangat dipengaruhi oleh kemampuan lembaran – lembaran tersebut mengikat air disekitarnya.

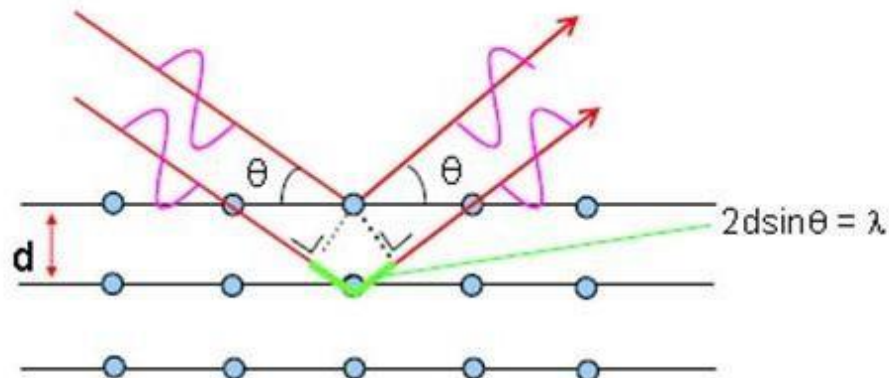
6.2 Aspek Geoteknik Tanah Ekspansif

Sinar – X adalah salah satu bentuk dari radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar antara 0,001 Å sampai dengan 100 Å. Panjang gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sinar – X dan ordenya sama dengan jarak bidang atom dalam kristal yaitu berkisar antara 0,5 – 2,5 Å, oleh sebab itu sinar – X mampu menganalisis struktur Kristal dan mengidentifikasi mineral tanah yang berbentuk kristal. Sinar – X akan menunjukkan gejala difraksi jika jatuh pada benda yang jarak antar bidangnya kira – kira sama dengan panjang gelombang sinar tersebut. Sinar – X dihasilkan dari tumbukan electron berkecepatan tinggi dengan logam sasaran yang memberikan radiasi yang karakteristik [2].

Setiap mineral dengan struktur kristalin yang berbeda akan mempunyai pola difraksi sinar – X yang berbeda pula, sehingga dari perbedaan pola difraksi sinar – X ini dapat dipakai untuk mengidentifikasi mineral yang terkandung dalam suatu sampel tanah. Pola difraksi dari mineral –

mineral yang umum telah diketahui sebelumnya, sehingga dengan mudah dapat dibandingkan dengan pola difraksi dari sampel tanah yang diuji.

Berdasarkan hipotesis Bragg, “Jika dua berkas sinar – x yang paralel dengan panjang gelombang (λ) mengenai bidang – bidang kristal yang sama dengan jarak antar bidang (d), maka perbedaan jarak yang ditempuh oleh kedua sinar tersebut berbanding langsung dengan panjang gelombangnya”



Gambar 2 Pantulan sinar – X terhadap 2 bidang permukaan Kristal

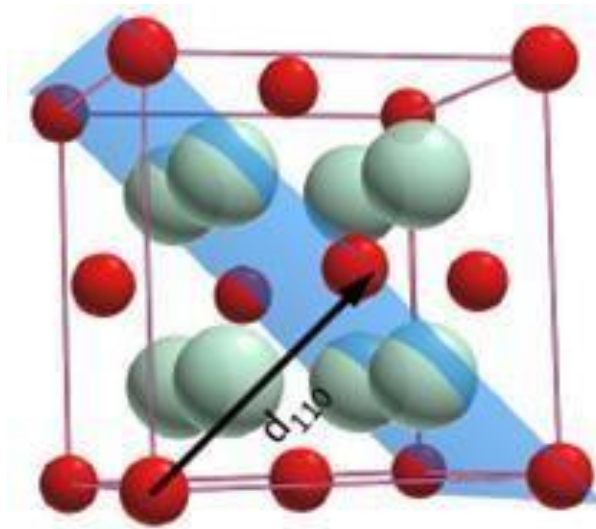
Formulasi Hukum Bragg dapat ditulis sebagai :

Dimana: n = jumlah refleksi ($n = 1, 2, 3, \dots$)

λ = panjang gelombang

d = jarak antar bidang

θ = sudut difraksi terhadap bidang kristal yang sejajar



Gambar 3 Posisi difraksi puncak ditentukan oleh jarak antar bidang paralel atom

Hukum Bragg ini digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi Kristal dengan difraksi sinar – X, dimana hukum ini berazaskan bahwa tidak ada 2 mineral yang mempunyai jarak antar bidang atom yang sama dalam 3 dimensi, sehingga sudut difraksi yang terjadi (dan jarak antar bidang atom yang dihitung) digunakan untuk mengidentifikasi mineral tersebut.

7 HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

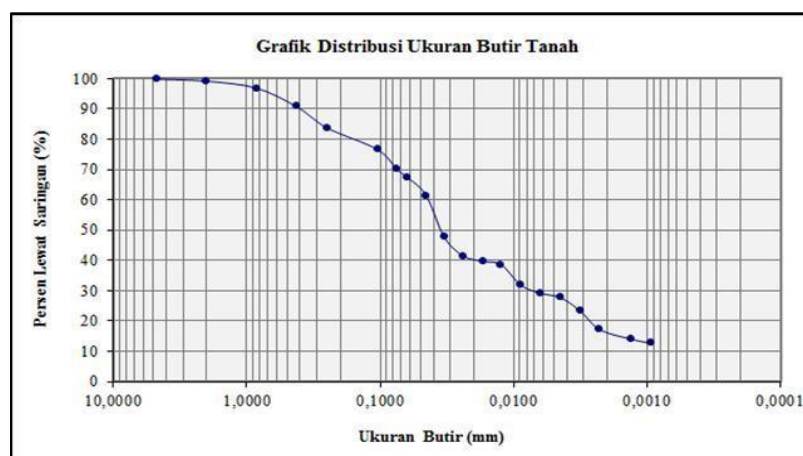
Hasil pengujian laboratorium terhadap sifat – sifat indeks sampel tanah ekspansif dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Hasil pengujian sifat indeks tanah

Sifat Indeks	Jumlah Pengujian	Hasil Penelitian
a. Analisa Pembagian Butir ^{*)}		
- Fraksi kerikil (<i>gravel</i>)		0,18 %
- Fraksi pasir (<i>sand</i>)	3	29,78%
- Fraksi lanau – lempung	3	70,04%
b. Konsistensi dan Aktifitas	3	
- Batas cair (LL)		75,41%
- Batas plastis (PL)	15	43,95%
- Indeks plastisitas (PI)	15	31,46%
- Batas susut (SL)	15	16,56%
- Aktifitas (A)	3	1,93
c. Berat Jenis (Gs)	3	2,542
d. Kepadatan kering maks. (γ_d)	3	1,288 gr / cm ³
e. Kadar air optimum (w_{opt})	1	32,40%
f. Koefisien permeabilitas	1	0,001711 cm / detik
g. Derajat ekspansifitas ^{**)}	3	Tinggi – Sangat Tinggi
h. Klasifikasi Tanah	3	
- USCS		MH
- AASHTO		A – 7 – 5

^{*)} berdasarkan klasifikasi tanah sistem USCS

^{**)} berdasarkan klasifikasi Chen serta Holtz dan Gibbs



Gambar 4 Distribusi ukuran partikel tanah

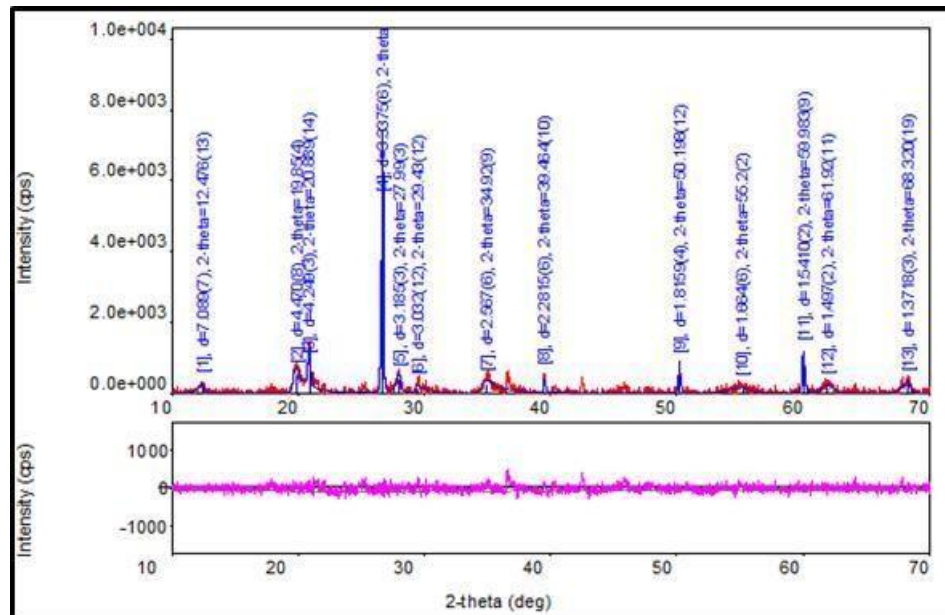
Dari tampilan distribusi ukuran partikel tanah di atas dapat dilihat bahwa secara kuantitatif fraksi lanau (*silt*) mendominasi proporsi dari sampel tanah ini, dan hal ini sesuai dengan pengklasifikasian tanah menurut sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) dengan menggolongkan jenis tanah tersebut sebagai MH (lanau inorganik plastisitas tinggi).

Pengujian *California Bearing Ratio* dengan metode rendaman (*Soaking CBR*) juga dilaksanakan di laboratorium untuk mengetahui sifat mekanis tanah (*engineering properties*), menyangkut daya dukung dan juga karakter pengembangan (*swelling*) contoh tanah tersebut. Pengujian telah dilakukan

sebanyak 3 kali sehingga didapatkan nilai rata – rata CBR sebesar 0,479% dan nilai rata-rata pengembangan bebas (*swelling*) sebesar 4,69%.

7.1 Aspek Geoteknik Tanah Ekspansif

Hasil pengujian *X-Ray Diffraction* terhadap sampel tanah ekspansif berupa hubungan antara intensitas dan sudut difraksi (2θ) dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5 Grafik hasil pengujian *X-Ray Diffraction*

Dari gambar grafik di atas teridentifikasi kandungan dan komposisi baik mineral-mineral lempung maupun bukan mineral lempung dalam sampel tanah yang diuji seperti terlihat dalam Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5 Kandungan mineral dan bukan mineral lempung

Jenis Kandungan	Formulasi Kimia	Konten (%)
Kaolinite 1A	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	4(2)
Illite – montmorillonite (NR)	$\text{KAl}_4(\text{Si},\text{AL})_8\text{O}_{10}(\text{OH})_4 \cdot 4$	87(40)
Quartz, syn	SiO_2	5(3)
Magnetite, syn	Fe_3O_4	1,1(6)
Rutile, syn	TiO_2	2,0(6)

Umumnya pada tanah lempung natural mengandung lebih dari satu tipe mineral, baik mineral lempung, mineral bukan lempung, atau bahan organik dan inorganik lainnya. Hingga saat ini belum ada satupun hasil studi yang dapat menjelaskan secara gamblang mengenai bagaimana pengaruh dan interaksi dari masing–masing tipe mineral secara individu terhadap perilaku tanah, namun bagaimanapun juga informasi tentang komposisi dan proporsi mineral ini penting untuk memberikan pemahaman yang komprehensif dan digunakan sebagai acuan dalam mendeskripsikan perilaku tanah secara kualitatif dan empiris.

7.2 Kajian Sinkronitas Antara Hasil Uji Sifat Indeks dan Difraksi Sinar – X

Untuk tiba pada justifikasi atas kesesuaian antara hasil uji sifat – sifat indeks tanah dan hasil pengujian difraksi sinar – X terhadap sampel tanah ekspansif yang menjadi obyek penelitian dalam tulisan ini maka dilakukan tahapan pengkajian secara logis dan runtut sebagai berikut :

1. Nilai aktifitas tanah (A) yaitu nisbah antara nilai indeks plastisitas (PI) dan fraksi lempung (partikel yang lebih kecil dari 2 μ) dalam sampel tanah diperoleh sebesar $A = 1,93$.
2. Besarnya nilai aktifitas (A) tanah lempung normal berkisar antara 0,75 – 1,25 [7]. Bila nilai A dibawah 0,75 dikatakan tanah lempung tersebut tidak aktif sedang jika nilai A diatas 1,25 maka tanah lempung dikategorikan aktif. Nilai $A = 1,93$ pada sampel tanah yang diuji menunjukkan tanah lempung tersebut adalah aktif, artinya karakteristik konsistensi tanah ini relatif agak sensitif terhadap kadar mineral yang terkandung didalamnya.
3. Konsistensi tanah tidak lain adalah posisi kadar air pada saat tanah mengalami perubahan fase dari solid, semisolid, plastis, dan mencair. Umumnya mineral non lempung hamper tidak berpengaruh pada sifat – sifat indeks tanah yang mengalami perubahan kadar air (konsistensi) [4], sehingga dapat dikatakan bahwa mineral yang terkandung didalam sampel tanah ini banyak dipengaruhi atau didominasi oleh mineral lempung.
4. Penelusuran lebih jauh untuk memperkirakan apakah jenis mineral lempung yang terkandung oleh tanah ekspansif masuk dalam kategori grup *kaolinite*, *smectite*, atau yang lainnya. Untuk membedakan hal ini dapat dilihat dari karakter pengembangan yang dimiliki oleh sampel tanah. Nilai *swelling* sebesar 4,69 % mengindikasikan bahwa patut diduga mineral lempung yang dikandung termasuk dalam grup *smectite*.
5. Secara empirik sesuai kriteria yang diberikan Braja M. Das dalam Tabel 4.1 halaman 80 [1], sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 6 berikut, menunjukkan bahwa mineral lempung yang terkandung didalam sampel material tanah ekspansif didominasi oleh mineral *illite* dan *montmorillonite*.

Table 4.1 Typical Values of Liquid Limit, Plastic Limit, and Activity of Some Clay Minerals

Mineral	Liquid limit, LL	Plastic limit, PL	Activity, A
Kaolinite	35–100	20–40	0.3–0.5
Illite	60–120	35–60	0.5–1.2
Montmorillonite	100–900	50–100	1.5–7.0
Halloysite (hydrated)	50–70	40–60	0.1–0.2
Halloysite (dehydrated)	40–55	30–45	0.4–0.6
Attapulgite	150–250	100–125	0.4–1.3
Allophane	200–250	120–150	0.4–1.3

Gambar 6 Karakteristik mineral lempung

6. Hasil pengujian difraksi sinar-X pada Tabel 5 juga menunjukkan komposisi dan proporsi mineral lempung dari sampel tanah ekspansif obyek penelitian didominasi oleh mineral *illite* – *montmorillonite* sebesar 87%.

Dari urutan pengkajian di atas diperoleh suatu keyakinan tentang kesesuaian / sinkronitas antara sifat – sifat indeks sampel tanah ekspansif obyek penelitian dengan hasil pengujian difraksi sinar – X (X – Ray Diffraction).

8 KESIMPULAN

1. Hasil pengujian sifat – sifat indeks sampel tanah ekspansif memiliki kesesuaian atau sinkron dengan hasil pengujian difraksi sinar – X.
2. Hasil uji sifat – sifat indeks tanah hanya memberikan hubungan empirik antara nilai–nilai parameter tanah yang diperoleh dengan karakteristik fisik dan mekaniknya.

9 REFERENSI

- [1] Das, B. M., 2010, Principles of Geotechnical Engineering, 7th edition, Cengage Learning, USA.
- [2] Fathurrahmi, 2013, Identification of Natural Clay's Type Using X – Ray Diffraction, Jurnal Natural, pp 50.
- [3] Gourley, C.S., Newill, D., and Schreiner, H.D., 1993, *Expansive Soils: TRL's Research Strategy*, 1st International Symposium on Engineering Characteristics of Arid Soils, City University, London.
- [4] Kirov, B.L., True, N.N., 2011, *A Study on the Relationship between Geotechnical Properties and Clay Mineral Composition of Hanoi Soft Soils in Saline Media*, International Journal of Civil Engineering, pp 88.
- [5] Rogers, J. D., 2004, Damage to Foundations from Expansive Soil, (Online), diakses 22 February 2015 dari [http://web.mst.edu/~rogersda/expansive soils/](http://web.mst.edu/~rogersda/expansive%20soils/).
- [6] Sridharan, A., Prakash, K., 2000, *Classification Procedures for Expansive Soils*, Proceeding Institution of Civil Engineers, London.
- [7] Wikipedia, 6 Januari 2016, *Atterberg Limits*, (Online), diakses 23 Januari 2016 dari [https://en.wikipedia.org/wiki/Atterberg limits](https://en.wikipedia.org/wiki/Atterberg_limits).